أثر أستخدام الطاقة المتجددة في تقليل إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون في موانئ البحر الأحمر المصرية

إعداد
أيمن محمد البدوي بدوي خليل
شركة تيدا رويال للمستودعات الجمركية

DOI NO. https://doi.org/10.59660/50723
Received 15/10/2024, Revised 20/11/2024, Acceptance 02/01/2025, Available online 01/07/2025

Abstract

This study investigates the environmental and economic effects of utilizing renewable energy to reduce carbon dioxide emissions and improve operational efficiency in Red Sea ports, focusing on Ain Sokhna Port as a case study. The research aligns with the growing global emphasis on sustainable maritime operations and mitigating the environmental impacts of port activities.

The study employs a descriptive-analytical approach to examine the influence of renewable energy sources, such as solar and wind energy, on the environmental and operational performance of ports. Data were collected via a questionnaire distributed to workers in Red Sea ports and other stakeholders.

The research identifies four key dimensions of renewable energy utilization: solar energy, wind energy, hydroelectricity, and bioenergy. These dimensions represent critical resources for sustainable and environmentally friendly energy generation. Solar energy, widely adopted for electricity generation in seaports, has been shown to significantly reduce dependence on electricity derived from fossil fuels. The findings highlight that solar energy significantly will contribute to reducing carbon dioxide emissions in Ain Sokhna Port. Similarly, wind energy was found to play a crucial role in emission reduction, while hydropower and bioenergy also demonstrated substantial positive impacts on mitigating carbon emissions.

Overall, the study concludes that all forms of renewable energy—solar, wind, hydropower, and bioenergy—positively influence emission reduction and enhance environmental performance

The study recommends expanding solar energy projects in Egyptian ports, particularly in coastal regions with high solar radiation levels. It also advocates for investment in advanced wind turbine technologies to enhance efficiency and their role in electricity generation for marine facilities and industrial activities associated with ports. Additionally, projects converting industrial and agricultural waste into bioenergy should be supported, as they simultaneously reduce waste and emissions. Investment in energy efficiency systems is advised to minimize fossil fuel consumption and emissions.

Furthermore, the study recommends implementing carbon capture and storage (CCS) technologies in ports heavily reliant on traditional energy sources. Finally, developing environmental performance indicators to monitor the effectiveness of renewable energy in reducing carbon emissions is essential for sustainable development.

المستخلص

تواجه الموانئ البحرية تحديات بيئية متزايدة نتيجة للانبعاثات الكربونية الناجمة عن الأنشطة التشغيلية. تسعى هذه الدراسة إلى استكشاف دور الطاقة المتجددة كحل مستدام لتقليل هذه الانبعاثات وتعزيز الكفاءة البيئية في موانئ البحر الأحمر، مع التركيز على ميناء العين السخنة كنموذج تطبيقي. هدف هذا البحث إلى دراسة التأثيرات البيئية والاقتصادية لاستخدام الطاقة المتجددة في تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتحسين الكفاءة التشغيلية في موانئ البحر الأحمر، مع التركيز على ميناء السخنة كنموذج تطبيقي. يتماشى البحث مع الاهتمام المتزايد بتحقيق استدامة العمليات البحرية وتخفيف الآثار البيئية للنشاطات المينائية. تم استخدام المنهج الوصفي التحليلي لتحديد أثر الطاقة المتجددة، مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، على الأداء البيئي والتشغيلي في الموانئ.

تم جمع البيانات عبر استبيان شمل العاملين في موانئ البحر الأحمر والجهات المعنية الأخرى من خلال هذه الدراسة عن بعض ابعاد الطاقة المتجددة، وهي أربعة أبعاد رئيسية لقياس استخدامها: الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطاقة الكهرومائية، والطاقة الحيوية. وتعتبر هذه الأبعاد من أهم الموارد التي يمكن الاعتماد عليها في توليد الطاقة بشكل مستدام وصديق للبيئة. تم التوصل إلى أن استخدام الطاقة الشمسية في ميناء العين السخنة ممكن ان يساهم بشكل كبير في تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، كما أظهرت أن طاقة الرياح ممكن ان تلعب دورًا مهمًا في تقليل الانبعاثات وأكدت أن الطاقة الكهرومائية ممكن ان تسهم بشكل فعال في تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في ميناء العين السخنة عند استخدامها، كما أثبتت الدراسة الحالية أن الطاقة الحيوية لها تأثير إيجابي كبير على تقليل الانبعاثات ما توصلت إليه هذه الدراسة هو أن جميع أشكال الطاقة المتجددة (الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطاقة الكهرومائية، والطاقة الحيوية)، قد أظهرت تأثيرًا إيجابيًا على تقليل الانبعاثات وتحسين الأداء البيئي في ميناء العين السخنة.

١ـ المقدمة عامة

في السنوات الأخيرة، أصبح التحول إلى الطاقة المتجددة ضرورة ملحة لمواجهة التحديات البيئية الناتجة عن زيادة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، التي تعد من المسببات الرئيسية لظاهرة الاحتباس الحراري وتغير المناخ. تعتمد العديد من الدول على الطاقة التقليدية المستخرجة من الوقود الأحفوري لتشغيل مختلف القطاعات، بما في ذلك الموانئ البحرية، مما يؤدي إلى انبعاث كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون، إلا أن التوجه نحو استخدام الطاقة المتجددة يمكن أن يمثل حلاً فعالًا لتقليل هذه الانبعاثات وتحقيق التنمية المستدامة (Lund & Mathiesen,2019) .

وتشمل الطاقة المتجددة، أربعة أبعاد رئيسية لقياس استخدامها: الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطاقة الكهرومائية، والطاقة الحيوية. وتعتبر هذه الأبعاد من أهم الموارد التي يمكن الاعتماد عليها في توليد الطاقة بشكل مستدام وصديق للبيئة. فعلى سبيل المثال، تُعد الطاقة الشمسية من المصادر المتجددة التي تستخدم على نطاق واسع لتوليد الكهرباء في الموانئ البحرية العالمية، حيث أثبتت الدراسات أن استخدام الألواح الشمسية يقلل بشكل كبير من الاعتماد على الطاقة الكهربائية المولدة من الوقود الأحفوري، مما يقلل من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (Zhao et al., 2018).

إلى جانب الطاقة الشمسية، تلعب طاقة الرياح دورًا مهمًا في تحقيق التحول نحو الطاقة النظيفة، خاصة في المناطق الساحلية التي تتمتع بسرعة رياح مناسبة لتوليد الطاقة. ويُظهر البحث أن توربينات الرياح الموزعة على طول السواحل يمكن أن تسهم في توليد كميات كبيرة من الكهرباء، ما يخفف من استهلاك الوقود الأحفوري ويقلل من الانبعاثات الكربونية بشكل ملحوظ (Wang et al., 2020). أما الطاقة الكهرومائية فتستخدم بشكل خاص في المناطق التي تمتاز بوفرة المياه والقدرة على بناء السدود الصغيرة لتحويل تيارات المياه إلى طاقة. وقد أظهرت الدراسات أن استخدام الطاقة الكهرومائية في الموانئ البحرية يُسهم في تقليل الانبعاثات الناتجة عن تشغيل المرافق المختلفة بالميناء(Brown et al., 2017).

الطاقة الحيوية هي البعد الرابع والأخير للطاقة المتجددة في هذا البحث، والتي تعتمد على تحويل المخلفات العضوية والوقود الحيوي إلى طاقة. وقد أظهرت الأبحاث أن استخدام هذه التقنية في الموانئ يمكن أن يقلل من انبعاثات الكربون بشكل فعال، خاصة عند استخدامها كمصدر بديل للوقود الأحفوري في تشغيل السفن والمرافق البحرية (Basu et al., 2019).

من جهة أخرى، يتمثل تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون, وهو ما يُقاس من خلال أربعة أبعاد رئيسية: خفض إجمالي الانبعاثات، وتحسين كفاءة الطاقة، وخفض الانبعاثات المرتبطة بالنقل البحري، والتأثير البيئي الإجمالي. يُعنى البعد الأول بتقييم مدى تأثير استخدام الطاقة المتجددة في تقليل إجمالي الانبعاثات الناتجة عن تشغيل الموانئ. وقد أظهرت الدراسات أن التحول إلى مصادر الطاقة المتجددة في الموانئ الكبرى مثل ميناء العين السخنة يمكن أن يقلل من إجمالي الانبعاثات بنسبة تصل إلى ٣٠%(Gielen et al., 2019).

أما تحسين كفاءة الطاقة فيرتبط بتقليل الفاقد الطاقي وزيادة الاستفادة من الطاقة المتجددة، مما يؤدي إلى تقليل الحاجة إلى الوقود الأحفوري التقليدي ويُسهم في تقليل الانبعاثات الكربونية (Amponsah et al., ٢٠١٤) . بالنسبة إلى البعد الثالث، الذي يتعلق بـ خفض الانبعاثات المرتبطة بالنقل البحري, فإن استخدام الطاقة المتجددة في تشغيل أنظمة الموانئ، مثل الألواح الشمسية وتوربينات الرياح، يمكن أن يسهم في تقليل الانبعاثات الناجمة عن السفن والعمليات البحرية، والتي تُعد مصدرًا رئيسيًا لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون (Johnson et al., 2019).

في الختام، يظهر أن التحول إلى الطاقة المتجددة يمثل حلاً محوريًا لمواجهة تحديات التغير المناخي وتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الموانئ البحرية. استخدام الطاقة الشمسية، الرياح، الكهرومائية، والحيوية يوفر بديلاً مستدامًا للوقود الأحفوري، ويسهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة في مصر والمنطقة العربية.

٢ـ مشكلة الدراسة

في ظل التزايد المستمر للانبعاثات الكربونية التي تؤثر سلبًا على البيئة والمناخ العالمي، أصبحت موانئ البحر الأحمر، بما في ذلك ميناء العين السخنة، من أكثر المناطق عرضة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون(CO2) نتيجة الاعتماد المكثف على الوقود الأحفوري في عملياتها التشغيلية. تشير التقارير إلى أن قطاع الشحن البحري وحده يساهم بنحو ٢,٥٪ من إجمالي انبعاثات غازات الاحتباس الحراري العالمية، ما يعادل حوالي

٩٤٠ مليون طن من CO2 سنويًا (IMO, 2020), وتعتمد الموانئ على الطاقة التقليدية لتشغيل السفن، ,الأنظمة اللوجستية، والمرافق الأخرى، مما يزيد من العبء البيئي.

في مصر، تُعد موانئ البحر الأحمر من أهم المرافق الاقتصادية التي تعتمد بشكل كبير على النقل البحري كجزء من التجارة الدولية. ومع ذلك، لا يزال الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية مرتفعًا، ما يساهم بشكل كبير في زيادة انبعاثات الكربون. على سبيل المثال، أظهرت الإحصاءات أن استهلاك الوقود الأحفوري في الموانئ المصرية يسهم بحوالي ١٥٪ من إجمالي انبعاثات الكربون المرتبطة بالنقل البحري في مصر (وزارة البيئة المصرية، ٢٠١٩). هذه الانبعاثات ليست فقط سببًا في تدهور البيئة المحلية، بل أيضًا تؤثر على الصحة العامة وتفاقم التغيرات المناخية.

تأتي الحاجة إلى الدراسة في ظل غياب حلول كافية في موانئ البحر الأحمر لتقليل هذه الانبعاثات، مما يسلط الضوء على أهمية البحث في تأثير استخدام الطاقة المتجددة كبديل نظيف للطاقة التقليدية. الدراسات العالمية أثبتت أن التحول إلى مصادر الطاقة المتجددة يمكن أن يقلل من الانبعاثات الكربونية بنسبة تصل إلى ٤٠٪-٧٥٪، اعتمادًا على تقنيات الطاقة المتجددة المستخدمة (Gielen et al., 2019)؛ (Bauer et al., 2020). ومع ذلك، لم يتم بعد دراسة تطبيق هذا التحول بشكل كافٍ في موانئ البحر الأحمر، مما يمثل فجوة بحثية هامة.

دراسة Zhao et al. (2018) أظهرت أن استخدام الألواح الشمسية في الموانئ الساحلية يمكن أن يقلل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة ٣٠٪، بينما وجدت دراسة Wang et al. (2020) أن استخدام طاقة الرياح البحرية يمكن أن يخفض الانبعاثات بنسبة كبيرة تصل إلى ٤٠٪ في الموانئ الساحلية, ورغم هذه النتائج الواعدة، لم تُطبق هذه التقنيات على نطاق واسع في موانئ البحر الأحمر .

علاوة على ذلك، لم تتناول الدراسات الحالية التحديات المحلية الخاصة التي قد تواجه الموانئ المصرية في تطبيق تقنيات الطاقة المتجددة. تشمل هذه التحديات الظروف الجغرافية والمناخية، والبنية التحتية المحدودة، والتكاليف الأولية العالية للتحول إلى الطاقة المتجددة .(Tagliapietra & Zachmann, 2020) هذه العوامل تجعل من الضروري إجراء دراسة حالة محددة تركز على ميناء العين السخنة باعتباره أحد الموانئ الحيوية في المنطقة، حيث يمكن أن يمثل نموذجًا لتطبيق تقنيات الطاقة المتجددة في الموانئ المصرية.

انطلاقًا مما سبق، تتمثل مشكلة الدراسة في الحاجة الملحة لفهم وتقييم أثر استخدام الطاقة المتجددة في تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في موانئ البحر الأحمر، مع التركيز على ميناء العين السخنة كنموذج تطبيقي. ستركز الدراسة على تحليل الأبعاد الأربعة للطاقة المتجددة (الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطاقة الكهرومائية، والطاقة الحيوية) وتقييم تأثيرها على تقليل انبعاثات الكربون بناءً على تجارب دولية سابقة، مع الأخذ في الاعتبار التحديات الخاصة بالموانئ المصرية.

٣- أهداف الدراسة

الهدف الرئيسي

تقييم أثر استخدام الطاقة المتجددة بأبعادها المختلفة على تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في ميناء العين السخنة.

الأهداف الفرعية

١. دراسة تأثير استخدام الطاقة الشمسية على تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في ميناء العين السخنة.
٢. دراسة تأثير استخدام طاقة الرياح في تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في ميناء العين السخنة
٣. دراسة تأثير الطاقة الكهرومائية على تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في ميناء العين السخنة.
٤. دراسة تأثير استخدام الطاقة الحيوية في تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في ميناء العين السخنة.

٤- أهمية الدراسة

- تساهم هذه الدراسة في توسيع المعرفة العلمية حول تأثير استخدام مصادر الطاقة المتجددة في تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في قطاع النقل البحري، وتحديدًا في الموانئ البحرية، وهو مجال ما زال يحتاج إلى المزيد من الأبحاث والدراسات المتعمقة.
- تُعد الدراسة من الأبحاث النادرة التي تتناول تأثير الطاقة المتجددة على انبعاثات الكربون في موانئ البحر الأحمر، وبخاصة ميناء العين السخنة. هذا سيسهم في ملء الفجوة البحثية المتعلقة بالبيئة البحرية المصرية وتبني الطاقة المستدامة.
- تركز الدراسة على أبعاد متعددة للطاقة المتجددة (الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطاقة الكهرومائية، والطاقة الحيوية) وتأثير كل منها على تقليل انبعاثات الكربون. هذا التحليل المتعدد الأبعاد يضيف قيمة علمية للتخصصات المرتبطة بالطاقة المتجددة والبيئة.
- يوفر البحث نموذجًا يمكن استخدامه كأساس لدراسات لاحقة في دول أخرى أو موانئ أخرى في مصر، مما يسهم في تطوير أبحاث متقدمة في مجالات الطاقة المستدامة وتقليل الانبعاثات.
- تقدم الدراسة توصيات عملية حول كيفية استخدام الطاقة المتجددة في موانئ البحر الأحمر، وخاصة ميناء العين السخنة، مما يسهم في تحسين كفاءة استخدام الطاقة وتقليل الانبعاثات الضارة بالبيئة.
- يمكن أن تساعد النتائج التي ستتوصل إليها الدراسة صانعي السياسات والمخططين البيئيين في مصر على اتخاذ قرارات مدروسة بشأن دمج تقنيات الطاقة المتجددة في قطاع النقل البحري والموانئ، وتوجيه الاستثمارات نحو مشاريع الطاقة المستدامة.
- النتائج التي ستقدمها الدراسة يمكن أن تسهم في تحسين الأداء البيئي للموانئ البحرية المصرية، مما يقلل من الأضرار البيئية والصحية الناتجة عن الانبعاثات الكربونية العالية.
- تسهم الدراسة في تحقيق أهداف التنمية المستدامة من خلال التركيز على كيفية تقليل البصمة الكربونية وتحسين كفاءة استخدام الطاقة في الموانئ البحرية، مما يدعم توجهات مصر نحو تحقيق الاستدامة البيئية.
- توفر الدراسة بيانات علمية يمكن استخدامها لتوجيه الاستثمارات في مشاريع الطاقة المتجددة، خاصة في قطاع الموانئ والنقل البحري، مما يعزز من فرص تبني هذه التقنيات على نطاق أوسع .

٥- منهجية الدراسة

تستخدم الدراسة المنهج الوصفي التحليلي (Descriptive-Analytical Method) من أجل وصف الظاهرة المدروسة (استخدام الطاقة المتجددة وتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون) وتحليل العلاقات بينها. يقوم المنهج الوصفي بجمع البيانات المتعلقة بمدى استخدام تقنيات الطاقة المتجددة في ميناء العين السخنة، فيما يتم تحليل هذه البيانات لتحديد تأثير الطاقة المتجددة على تقليل الانبعاثات الكربونية.

- تصميم الدراسة:

نوع الدراسة. دراسة حالة (Case Study) تتناول ميناء العين السخنة كنموذج تطبيقي.

- أدوات جمع البيانات

الاستبيانات: تم استخدام استبيانات لجمع آراء خبراء الطاقة والمختصين في الميناء حول فعالية تقنيات الطاقة المتجددة.

المقابلات: إجراء مقابلات منظمة مع المختصين والمسؤولين وبعض الموظفين في ميناء العين السخنة لفهم تطبيقات الطاقة المتجددة وتحدياتها.

التحليل الإحصائي: تم استخدام تقنيات التحليل الإحصائي لاختبار الفروض، مثل تحليل الانحدار (Regression Analysis) لقياس تأثير أبعاد الطاقة المتجددة على تقليل الانبعاثات الكربونية.

مجتمع وعينة الدراسة

مجتمع الدراسة: يتكون مجتمع الدراسة من جميع الموظفين والمتخصصين في ميناء العين السخنة، بما في ذلك المسؤولين عن تشغيل الأنظمة الطاقية، والمهندسين البيئيين، وخبراء الكهرباء ،والطاقة , والمدراء التنفيذيين.

عينة الدراسة: سيتم اختيار عينة عشوائية طبقية (Stratified Random Sampling) تشمل عددًا من الخبراء في الميناء.

حدود الدراسة

الحدود الزمانية:

- تركز الدراسة على البيانات الخاصة باستخدام الطاقة المتجددة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في ميناء العين السخنة في النصف الأول من عام٢٠٢٤.

الحدود المكانية:

- تركز الدراسة بشكل أساسي على (ميناء العين السخنة)، الواقع على ساحل البحر الأحمر في مصر. تم اختيار ميناء العين السخنة كنموذج بسبب موقعه الاستراتيجي وأهميته كميناء رئيسي في منطقة البحر الأحمر، بالإضافة إلى الجهود الحالية والمخططات المستقبلية لاستخدام تقنيات الطاقة المتجددة في تشغيل الميناء.

الحدود الموضوعية

- تركز الدراسة على أثر استخدام الطاقة المتجددة (الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطاقة الكهرومائية، والطاقة الحيوية) في تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الموانئ البحرية، مع دراسة حالة تطبيقية لميناء العين السخنة في استخدام الطاقة المناسبة لها.

٦- التحليل الاحصائي والمناقشة

تمثل مجتمع الدراسة في المدراء والعاملين بميناء السخنة كما يوضحه الجدول التالي:

جدول رقم (1) توصيف مجتمع الدراسة.

	عدد العاملين بميناء السخنة
مدير عام الميناء	١
نائب مدير عام الميناء	١

ادارة التشغيل	٥٢٣
الادارة الهندسية والفنية والصيانة	٣٠٣
ادارة الشؤون المالية والتجارية	١٠٠
ادارة الشؤن الإدارية والبشرية	٥٠
ادارة خدمة العملاء	١٠
إدارة البيئة والسلامة	١٧
الإجمالي	١٠١٥

المصدر: اعداد الباحث اعتمادا على مقابلات مديري الموارد البشرية بالميناء محل الدارسة، يوليو ٢٠٢٤

عينة الدراسة ونسبة الاستجابة:

قام الباحث بالاعتماد على اسلوب الحصر الشامل لمدراء الميناء هو موضح بالجدول رقم (1) والمتمثلين في (رئيس مجلس الإدارة ومديري الصادر ومديري الوارد ومديري التشغيل ومديري الصيانة والكهرباء والمدير المالي والتسويق ونظم المعلومات والامن والسلامة) والبالغ عددهم (10) مديراً. اما فيما يتعلق بالعاملين والبالغ عددهم (1015) عامل. منهم (التي هي محل الدراسة وبالاعتماد على معادلة تحديد حجم العينة (بازرعة،٢٠٠٠). وقد بلغ حجم العينة (٢٧٩) شخص.

وقد تم اختيار عينة العاملين في ضوء المعادلة التالية: حيث يبلغ عدد الأشخاص (١٠١٥).

$$ن = \frac{((ق - 1) \times ق)}{\left(\frac{((ق-1)\times ق)}{1ن}\right) + \left(\frac{د^2}{(د.م)^2}\right)}$$

حيث إن:

ن: حجم العينة.

ق: نسبة تتراوح بين الفرد الواحد ونفترضها (٠,٥)

ن١: عدد أفراد المجتمع

د: نسبة الخطأ المسموح به

د.م: الدرجة المعيارية، وهي تساوي ١,٩٦ عند معامل ثقة ٩٥٪

بتطبيق القيم:

$$\text{ن} = \frac{((0.5-1)\times 0.5)}{\left(\frac{((1-0.5)\times 0.5)}{1015}\right)+\left(\frac{^{2}(0.05)}{^{2}(1.96)}\right)}$$

$$\text{ن} = \frac{0.25}{\frac{0.25}{1015}+\left(\frac{0.0025}{3.8416}\right)}$$

عند الحساب تكون النتيجة:

$$\text{ن} \approx 273 \text{عاملًا}$$

جدول رقم (2) يوضح مجتمع الدراسة والاستمارات الموزعة ونسبة الاستجابة

الفئة	اسلوب الدراسة	مجتمع الدراسة	عينة الدراسة	الاستمارات المستردة	الاستمارات غير المستردة والمستبعدة	الاستمارات القابلة للتحليل	نسبة الاستمارات القابلة للتحليل
المديرون	حصر شامل	١٠	٦	٦	٠	٦	% ٦٠
العاملون	عينة عشوائية بسيطة	٧٠٠	٢٧٣	٣٠٨	٣٥	٢٧٣	٪٨٨,٥

المصدر: إعداد الباحث.

معامل الصدق والثبات لاستبانة الدراسة

جدول (3) نتائج اختبارات الثبات لمتغيرات الدراسة

م		البيان	معامل الارتباط	معامل الثبات عند حذف العبارة	المعنوية	معامل الثبات	
						عدد العبارات	معامل ألفا
		الطاقة الشمسية					
١		الطاقة الشمسية يمكن استخدامها بكفاءة في تشغيل الأنظمة المختلفة في الميناء.	٠,٨٢٣	٠,٨١٨	٠,٠١٨ ف المحسوبة: ٤,٠٣١	٣	٠,٩١٣
٢		الألواح الشمسية تساهم في تقليل الحاجة إلى الطاقة التقليدية	٠,٥٧٦	٠,٩٣٩			
٣		استخدام الطاقة الشمسية يقلل من استهلاك الوقود الأحفوري	٠,٧٨٣	٠,٨٦٢			
		طاقة الرياح					
4		ممكن الاستفادة من طاقة الرياح بكفاءة في توليد الكهرباء في الميناء.	٠,٧٤٩	٠,٩٩٤	٠,٠٠٧ ف المحسوبة: ٧,٥١١	٢	٠,٨٥٦
5		طاقة الرياح ممكن ان تساهم في تقليل التكاليف التشغيلية.	٠,٧٤٩	٠,٨١٤			
		الطاقة الكهرومائية					

6		استخدام الطاقة الكهرومائية بشكل فعّال يساهم في تشغيل المرافق البحرية في الميناء.	٠,٥٦٠	٠,٨٨٩	٠,٠٠٠ ف المحسوبة: ١٠,٣٧٤	٤	٠,٨٦٥
7		الطاقة الكهرومائية توفر بديلاً اقتصاديًا ومستدامًا لمصادر الطاقة التقليدية.	٠,٨٢٣	٠,٧٨٤			
8		الطاقة الكهرومائية ممكن ان تساهم في تحسين استقرار إمدادات الطاقة في الميناء.	٠,٧٠٢	٠,٨٣٢			
9		الطاقة الكهرومائية ممكن ان تقلل من الانبعاثات الكربونية الناتجة عن أنشطة الميناء	٠,٧٨٩	٠,٧٩٦			
	الطاقة الحيوية						
10		استخدام الطاقة الحيوية بشكل منتظم في عمليات تشغيل الميناء.	٠,٦٢٦	٠,٩٠٦	٠,٠٤٥ ف المحسوبة: ٣,١٢١	٣	٠,٨٦٢
11		الطاقة الحيوية قد تساهم في تقليل نفايات الميناء عبر تحويلها إلى طاقة.	٠,٨٣١	٠,٧١٤			
12		الطاقة الحيوية ممكن ان توفر بديلاً مناسبًا للوقود التقليدي في العمليات اليومية.	٠,٧٦٣	٠,٧٨١			
		إجمالي المتغيرات المستقلة			٠,٠١٩ ف المحسوبة: ٢,٠٦٩	١٢	٠,٦٧٣
	خفض أجمالي الانبعاثات						
18		استخدام الطاقة المتجددة يؤدى إلى خفض كبير في إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.	٠,٥٧٢	٠,٨٤٧	٠,٠٠٤ ف المحسوبة: ٢,٨٠٢	٩	٠,٨٦٠
19		المشاريع الجديدة في مجال الطاقة المتجددة يمكن ان تساهم في تقليل الانبعاثات الكربونية.	٠,٦٩٨	٠,٨٣٤			
20		يتم مراقبة الانبعاثات الكربونية بشكل مستمر لضمان تقليلها.	٠,٥٣١	٠,٨٥٠			
21		تعتمد سياسات الميناء على تقليل الانبعاثات بشكل مستدام.	٠,٥٩٢	٠,٨٤٥			
22		تم تحقيق انخفاض ملحوظ في انبعاثات الكربون مقارنة بالسنوات السابقة.	٠,٥٣٦	٠,٨٥٠			
23		ساهمت المبادرات الحكومية في تشجيع تقليل الانبعاثات الكربونية.	٠,٦٤٧	٠,٨٣٩			
24		استخدام التقنيات المتجددة أدى إلى تقليل التلوث البيئي بشكل عام.	٠,٥٥٣	٠,٨٤٩			
25		تسهم أنظمة الطاقة المتجددة في تحقيق أهداف خفض الانبعاثات.	٠,٥٨١	٠,٨٤٦			
26		يوجد توافق بين سياسات الميناء وأهداف الحد من الانبعاثات العالمية.	٠,٥٦٧	٠,٨٤٧			
	تحسين كفاءة الطاقة						
27		يؤدى تحسين كفاءة الطاقة إلى تقليل استهلاك الوقود.	٠,٥٥٠	٠,٨٣٩	٠,٠٤٢ ف	٧	٠,٨٥١
28		يتم تطبيق تقنيات حديثة لتحسين كفاءة استخدام الطاقة.	٠,٦٩٦	٠,٨١٧			

29	توفر أنظمة الطاقة المتجددة كفاءة أعلى مقارنة بالأنظمة التقليدية.		٠,٥٩٦	٠,٨٣٢	المحسوبة: ٢,١٨٥	
30	تطبيق سياسات كفاءة الطاقة يساهم في خفض التكاليف التشغيلية.		٠,٦٨٥	٠,٨١٩		
31	يتم تقييم كفاءة الأنظمة الطاقية بشكل دوري لضمان التحسين المستمر.		٠,٥٦٠	٠,٨٣٧		
32	يساعد تحسين كفاءة الطاقة في تقليل الانبعاثات الكربونية.		٠,٦٤٦	٠,٨٢٥		
33	تساهم التقنيات المتقدمة في تقليل الفاقد الطاقي وزيادة الكفاءة.		٠,٥٤٤	٠,٨٣٩		
	حفض انبعاثات النقل البحري					
34	استخدام الطاقة المتجددة ساعد في تقليل انبعاثات النقل البحري.		٠,٧٥٨	٠,٨٥٣	٠,٠٠١ ف المحسوبة: ٤,٨٥٤	٥	٠,٨٨٦
35	. يتم تطبيق تقنيات حديثة للحد من انبعاثات السفن في الميناء.		٠,٦١١	٠,٨٨٩			
36	أنظمة الطاقة المتجددة تقلل الحاجة لاستخدام الوقود الأحفوري في النقل البحري.		٠,٧٠٧	٠,٨٦٥			
37	توجد سياسات واضحة لتقليل الانبعاثات الناتجة عن السفن في الميناء.		٠,٧٧١	٠,٨٥١			
38	ساهمت الطاقة النظيفة في تحسين الأداء البيئي لقطاع النقل البحري.		٠,٧٨٧	٠,٨٤٧			
	التأثير البيئي الإجمالي					
39	ساهمت الطاقة المتجددة في تحسين جودة الهواء في محيط الميناء.		٠,٦٩٢	٠,٨٨٢	٠,٠٥٥ ف المحسوبة: ٢,٣١٧	٥	٠,٨٩٤
40	الطاقة المتجددة تساهم في تقليل التلوث البيئي في المنطقة المحيطة بالميناء.		٠,٧٠٧	٠,٨٧٩			
41	يتم تقليل تأثير الأنشطة الصناعية في الميناء على البيئة باستخدام الطاقة المتجددة.		٠,٦٨٤	٠,٨٨٤			
42	يتم تحسين البيئة البحرية المحيطة بالميناء بفضل استخدام مصادر طاقة نظيفة.		٠,٧٧٩	٠,٨٦٢			
43	يشهد الميناء تحسنًا عامًا في المؤشرات البيئية بعد تطبيق مشاريع الطاقة المتجددة.		٠,٨٤١	٠,٨٤٨			
	إجمالي المتغير التابع				٠,٠٠٠ ف المحسوبة: ٤,٩٩٧	٢٦	٠,٧٦٨

** المعنوية ≤.01

المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على نتائج التحليل الإحصائي.

من خلال جدول (3) يتضح أن اختبارات الصدق والثبات إلى التحقق من دقة أدوات القياس المستخدمة في الدراسة وموثوقيتها. تم إجراء تحليل الثبات باستخدام معامل ألفا كرونباخ لتقييم مدى استقرار وموثوقية

العبارات المختلفة في استبانة الدراسة. كما تم استخدام معاملات الارتباط لتحديد العلاقة بين العبارات الفردية والمتغيرات التي تقيسها.

١. **الطاقة الشمسية**. - أظهر تحليل معامل الثبات لأبعاد الطاقة الشمسية أن معامل ألفا كرونباخ بلغ ٠,٩١٣. وهو معامل مرتفع يدل على ثبات عالٍ. يوضح هذا أن العبارات الثلاث التي تقيس كفاءة إمكانية استخدام الطاقة الشمسية في الميناء مترابطة بشكل قوي وموثوقة. جميع معاملات الارتباط للعبارات كانت مرتفعة، حيث تراوحت بين ٠,٥٧٦. و٠,٨٢٣.

٢. **طاقة الرياح**. - بالنسبة لطاقة الرياح، حقق معامل الثبات ٠,٨٥٦. وهو قيمة جيدة تشير إلى ثبات عالٍ. عبارات القياس الخاصة بهذا المتغير أظهرت معاملات ارتباط قوية تراوحت بين ٠,٧٤٩. و٠,٩٩٤.. هذا يعزز ثقة الباحث في موثوقية قياس كفاءة طاقة الرياح وتأثيرها في خفض الانبعاثات في الميناء.

٣. **الطاقة الكهرومائية**. - أظهر تحليل استخدام الطاقة الكهرومائية معامل ثبات قدره ٠,٨٦٥. مما يشير إلى موثوقية مرتفعة. معاملات الارتباط للعبارات الأربعة كانت جيدة، حيث تراوحت بين ٠,٥٦٠. و٠,٨٢٣. هذه النتائج تؤكد أن الطاقة الكهرومائية تلعب دورًا كبيرًا وموثوقًا في تقليل الانبعاثات الكربونية.

٤. **الطاقة الحيوية**. - أظهرت الطاقة الحيوية أيضًا معامل ثبات مرتفعًا قدره ٠,٨٦٢. معاملات الارتباط تراوحت بين ٠,٦٢٦. و٠,٨٣١. مما يدل على وجود علاقة قوية بين العبارات التي تقيس هذا المتغير. تُعد هذه النتائج إشارة إلى أن الطاقة الحيوية تعتبر عنصرًا موثوقًا في تحليل تأثير الطاقة المتجددة على الميناء.

٥. **خفض إجمالي الانبعاثات**. - أظهرت نتائج معامل الثبات لمتغير "خفض إجمالي الانبعاثات" قيمة ٠,٨٦٠. مما يدل على ثبات قوي. كانت معاملات الارتباط للعبارات التسع التي تقيس هذا المتغير تتراوح بين ٠,٥٣١. و٠,٦٩٨. وهو ما يؤكد أن هذه العبارات متسقة بشكل كبير مع بعضها البعض.

٦. **تحسين كفاءة الطاقة**. - بالنسبة لتحسين كفاءة الطاقة، بلغ معامل الثبات ٠,٨٥١، مما يشير إلى أن العبارات المتعلقة بهذا المتغير موثوقة ومتسقة. تراوحت معاملات الارتباط بين ٠,٥٥٠. و٠,٦٩٦، مما يدل على ثبات جيد للعبارات السبع المتعلقة بكفاءة الطاقة.

٧. **خفض انبعاثات النقل البحري**. - أظهر متغير "خفض انبعاثات النقل البحري" معامل ثبات مرتفعًا قدره ٠,٨٨٦. كانت معاملات الارتباط قوية، حيث تراوحت بين ٠,٦١١. و٠,٧٨٧. هذه النتائج تشير إلى أن العبارات المتعلقة بتأثير الطاقة المتجددة على قطاع النقل البحري موثوقة جدًا.

٨. **التأثير البيئي الإجمالي**. - أظهر متغير "التأثير البيئي الإجمالي" أعلى قيم لمعامل الثبات، حيث بلغ ٠,٨٩٤، مما يشير إلى أن العبارات المتعلقة بهذا المتغير تتمتع بموثوقية عالية. معاملات الارتباط تراوحت بين ٠,٦٨٤ و٠,٨٤١، مما يعزز الثقة في دقة النتائج المتعلقة بالتأثير البيئي للطاقة المتجددة.

بناءً على نتائج اختبارات الثبات، يتضح أن استبانة الدراسة تتمتع بمستوى عالٍ من الثبات والموثوقية عبر جميع المتغيرات والأبعاد المختلفة. كانت جميع معاملات ألفا كرونباخ تفوق ٠,٨٥، مما يشير إلى أن العبارات المستخدمة لقياس المتغيرات مستقرة وموثوقة. هذه النتائج تعزز صحة البيانات المجمعة وتؤكد صلاحيتها للتحليل اللاحق.

٧- النتائج والتوصيات

نظرًا لأن نتائج الدراسة أثبتت أن الطاقة الشمسية تلعب دورًا مهمًا في تقليل الانبعاثات، يُوصى بتوسيع مشاريع الطاقة الشمسية في الموانئ المصرية، خصوصًا في المناطق الساحلية ذات الإشعاع الشمسي المرتفع. يمكن تركيب أنظمة الألواح الشمسية على أسطح المباني والمرافق البحرية لتوليد الطاقة النظيفة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.

- يُوصى بضرورة وضع سياسات وطنية شاملة لدعم استخدام الطاقة المتجددة في الموانئ المصرية. يمكن أن تشمل هذه السياسات توفير الحوافز المالية والتشريعية للمستثمرين في قطاع الطاقة المتجددة، وكذلك تطوير تشريعات ملزمة بتطبيق معايير الاستدامة في جميع أنشطة الموانئ.
- يجب العمل على تحسين كفاءة استخدام الطاقة في الموانئ من خلال تحديث الأنظمة التقنية القديمة واعتماد تقنيات جديدة موفرة للطاقة. يُوصى بزيادة الاستثمار في أنظمة كفاءة الطاقة لتقليل استهلاك الوقود الأحفوري والحد من الانبعاثات.
- يُوصى بإنشاء مؤشرات أداء بيئية تتابع مدى فعالية استخدام الطاقة المتجددة في تقليل الانبعاثات الكربونية. يجب أن تشمل هذه المؤشرات تقييمًا دوريًا لأداء كل مصدر من مصادر الطاقة المتجددة ومقدار الانبعاثات التي تم خفضها نتيجة لهذه الأنشطة.
- يشدد البحث أيضًا على ضرورة تطوير التشريعات بما يتناسب مع الأهداف المرجوة من تقليل الانبعاثات. يتطلب تحقيق هذه الأهداف وضع سياسات وتشريعات تدعم تبني مصادر الطاقة المتجددة وتقديم الحوافز المالية للموانئ التي تستثمر في التكنولوجيا النظيفة. كما يتطلب ذلك فرض قيود بيئية صارمة على شركات التشغيل الخاصة بالموانئ، خاصة في ظل خصخصة الموانئ التي تستدعي تعديلات قانونية إضافية للحفاظ على البيئة ومراقبة الانبعاثات بشكل دوري.
- تتضمن توصيات البحث تعزيز الوعي البيئي من خلال تنظيم حملات توعية وتوفير برامج تدريبية للعاملين في الموانئ، مما يسهم في تبني ممارسات مستدامة وتقليل الانبعاثات. كما يقترح تقديم حوافز مالية مثل الإعفاءات الضريبية والدعم المالي لمشاريع الطاقة المتجددة، بالإضافة إلى تحسين الدعم الحكومي بوضع سياسات تشجع على استخدام الطاقة النظيفة وتوفير الدعم الفني اللازم لتنفيذ هذه المشاريع.
- يوصي البحث بالاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة مثل محطات طاقة الرياح والطاقة الشمسية، وتحسين كفاءة استخدام الطاقة من خلال تحديث المعدات واعتماد ممارسات تشغيلية مستدامة. كما يشدد على أهمية إنشاء موانئ جافة لتقليل استخدام السيارات والمساهمة في خفض الانبعاثات، بالإضافة إلى تطوير منهجية موحدة لحساب بصمة الكربون وتعزيز التعاون بين الموانئ لتبادل أفضل الممارسات.

٨- الخلاصة

يوكد البحث أهمية التحول نحو نظام هجين يجمع بين الطاقة التقليدية والطاقة المتجددة في الموانئ البحرية كخطوة أساسية لتحقيق الاستدامة البيئية وتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. يظهر البحث أن الاعتماد الكبير على الوقود الأحفوري فقط، إلى جانب قلة الوعي البيئي والتكلفة العالية للطاقة المتجددة، يعوق الجهود المبذولة لتقليل الانبعاثات الضارة. بناءً على هذه النتائج، يرى الكاتب أن تنويع مصادر الطاقة والاعتماد بشكل كبير على الطاقة الشمسية وطاقة الرياح يمكن أن يسهم بشكل فعّال في تحقيق أهداف تقليل الانبعاثات بنسبة ١٠٪ بحلول عام ٢٠٣٠.

يُبرز البحث أن استخدام النظام الهجين يتيح للموانئ الاستفادة من مزايا كل من الطاقة التقليدية والمتجددة، مما يؤدي إلى تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري وتحسين كفاءة استخدام الطاقة. على سبيل المثال، يمكن تركيب ألواح الطاقة الشمسية وتوربينات الرياح في الموانئ لتوليد الكهرباء النظيفة، مما يقلل من انبعاثات الكربون الناتجة عن تشغيل المعدات الثقيلة والمركبات داخل الميناء. بالإضافة إلى ذلك، يعزز هذا النظام من القدرة على تحقيق الاكتفاء الذاتي في الطاقة، مما يقلل من الاعتماد على الشبكات الخارجية ويحقق توازنًا في استخدام الطاقة على مدار السنة.

يشدد البحث أيضًا على ضرورة تطوير التشريعات بما يتناسب مع الأهداف المرجوة من تقليل الانبعاثات. يتطلب تحقيق هذه الأهداف وضع سياسات وتشريعات تدعم تبني مصادر الطاقة المتجددة وتقديم الحوافز المالية للموانئ التي تستثمر في التكنولوجيا النظيفة. كما يتطلب ذلك فرض قيود بيئية صارمة على شركات التشغيل الخاصة بالموانئ، خاصة في ظل خصخصة الموانئ التي تستدعي تعديلات قانونية إضافية للحفاظ على البيئة ومراقبة الانبعاثات بشكل دوري.

تتضمن توصيات البحث تعزيز الوعي البيئي من خلال تنظيم حملات توعية وتوفير برامج تدريبية للعاملين في الموانئ، مما يسهم في تبني ممارسات مستدامة وتقليل الانبعاثات. كما يقترح تقديم حوافز مالية مثل الإعفاءات الضريبية والدعم المالي لمشاريع الطاقة المتجددة، بالإضافة إلى تحسين الدعم الحكومي بوضع سياسات تشجع على استخدام الطاقة النظيفة وتوفير الدعم الفني اللازم لتنفيذ هذه المشاريع.

علاوة على ذلك، يوصي البحث بالاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة مثل محطات طاقة الرياح والطاقة الشمسية، وتحسين كفاءة استخدام الطاقة من خلال تحديث المعدات واعتماد ممارسات تشغيلية مستدامة. كما يشدد على أهمية إنشاء موانئ جافة لتقليل استخدام السيارات والمساهمة في خفض الانبعاثات، بالإضافة إلى تطوير منهجية موحدة لحساب بصمة الكربون وتعزيز التعاون بين الموانئ لتبادل أفضل الممارسات.

في الختام، يؤكد البحث على أن تحقيق الاستدامة البيئية في الموانئ البحرية يتطلب تعاونًا فعالًا بين جميع الأطراف المعنية، بما في ذلك الحكومات، والشركات المشغلة، والمجتمعات المحلية. إن تبني نظام هجين بين الطاقة التقليدية والمتجددة، وتنويع مصادر الطاقة، وتطوير التشريعات الملائمة، يُعدُّان من الخطوات الحاسمة نحو تحقيق أهداف تقليل الانبعاثات والحفاظ على البيئة البحرية، مما يساهم في مكافحة تغير المناخ وتعزيز الاستدامة البيئية للموانئ البحرية.

المراجع

- Amponsah, N. Y., Troldborg, M., Kington, B., Aalders, I. and Hough, R. L., 2014. Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: A review of lifecycle considerations. "Renewable and Sustainable Energy Reviews", 39, pp.461-475.
- Basu, P., Butler, J. and Leon, M., 2019. Biomass co-firing options on the emission reduction and electricity generation costs in coal-fired power plants. *Renewable Energy*, 143, pp.573-584.
- Bauer, N., Bertram, C., Schultes, A., Klein, D., Luderer, G., Kriegler, E. and Edenhofer, O., 2020. The Economics of 1.5°C Climate Change Mitigation. *Annual Review of Resource Economics", 12(1), pp.97-122.

- Brown, A., Poudineh, R. and Foley, B., 2017. Achieving a Cost-Competitive Offshore Wind Power Industry: What is the Most Effective Policy Framework? "Renewable and Sustainable Energy Reviews", 92, pp.365-376.
- Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N. and Gorini, R., 2019. The role of renewable energy in the global energy transformation. "Energy Strategy Reviews", 24, pp.38-50.
- Jacobson, M. Z. and Delucchi, M. A., 2011. Providing all global energy with wind, water, and solar power. "Energy Policy", 39(3), pp.1154-1169.
- Johnson, T. M., Alatorre, C., Romo, Z. and Liu, F., 2019. Low-carbon development for cities. "World Bank Publications".
- Lund, H. and Mathiesen, B. V., 2019. Large-scale integration of renewable energy sources into the grid: A review. "Energy", 34(3), pp.348-354.
- Tagliapietra, S. and Zachmann, G., 2020. Promoting Green Growth: Energy Policies for the Post-Pandemic World. "Energy Policy", 147, p.111865.
- Wang, Q., Su, M., Li, R. and Ponce, P., 2020. Assessment of offshore wind power potential and its impact on energy development. "Renewable Energy", 145, pp.2137-2147.
- World Bank, 2017. The Role of Renewable Energy in Reducing Global Greenhouse Ga.
- Zhao, X. G., Ma, C. Q. and Hong, X. Q., 2018. The impact of solar energy technology improvements on greenhouse gas emissions. "Renewable Energy", 128, pp.277-288.